有限容量のデマンドバス運行モデルに関する研究

経営システム研究室　堤 多加將

1. はじめに

交通需要の希薄な地域において，路線バスは利用者が少ないことから，採算性が悪く，維持が困難である．この問題に対して，利用者の要求に対応して運行するデマンドバスが有効であると考えられている．ただし，少人数の利用者を想定して，10 人乗りの小型バスや，より小さな車を利用した場合，満員になり，利用者の乗り合いができない可能性が考えられる．本研究では，従来無限容量であったデマンドバスの容量を有限にするモデルを提案し期待乗車人数に与える影響を調べる．

2. 運行モデルの設定

中心地（地点 0 ）と要求発生地点（地点 1, 2, 3, ..., n ）が単路線上に等間隔に設定されている路線を 1 台のバスが運行する場合を考える．バスは時刻 $t=0$ から運行を始め，$\overline{t}$ （最終時刻）まで運行の要求を受け付ける．バスの発車，移動は単位時間ごとに行われ，バスの移動は 1 単位時間で区間を 1 つ進むものとし，バスの利用者の乗降時間は考えないものとする．需要は，各地点から中心地へ向かう需要のみを考え，中心地から各地点への移動や，地点間の移動は考えない．バスに同時に乗車できる人数には限りがあるものとし，それを $\overline{k}$ と表わす．一度の乗車で $\overline{k}$ を超える場合は，$\overline{k}$ まで乗車し，残りは失われるものとする．乗車人数が最大になった際は，その客が中心地で降車するまで，以後の需要は失われるものとする．

時間間隔 $[t, t+1)$ では次のように需要が発生し，バスが運行するものとする．

1. 時間間隔 $[t, t+1)$ に発生する地点 j（$j>0$）から中心地への行きの需要はパラメータ $\lambda_j(t)$ のポアソン過程により発生するものとする．
2. 時間間隔 $[t, t+1)$ に利用者からの要求を受け付け，最も早い時刻にきた需要に対して時刻 $t+1$ に移動を開始する．バスは運行中以外は中心地点で待機するように運行する．
3. 地点 j の利用者は，時間間隔 $[t, t+1)$ に要求をした場合，バスが中心地点を $t+1$ に出発し，$t+j+1$ 時間後にバスに乗ることを想定して行動するものとする．

複数地点の利用者の乗り合いは以下を仮定する．

1. 利用者は他の客を乗せるために回り道や待ち時間を許さないものとする．ただし，回り道をしない場合の同乗は考える．
2. 地点 j の利用者は，時間間隔 $[t, t+1)$ に要求をしたとき，中心地からバスが来る場合以外に，運行中のバスが地点 j に $t+j+1$ 時間後に到着し，中心地に向かうときには利用する．また，1 時間早い $t+j$ に到着する場合は確率 α で利用し，それ以外は利用しないものとする．

3. バスの状態と期待乗車人数の算出

予約取り消しはないものとする．そのため時間間隔 $[0, \overline{t}]$ での総期待予約人数が総期待乗車人数となる．時刻 t に状態 (i, j, k) （i : 現在地，j : 目的地，k : 総予約人数）のとき，時間間隔 $[t, \overline{t}]$ の総期待予約人数を $V_t(i, j, k)$ として次の漸化式が成立する．($a_j(k)$ は地点 j から k 人の要求が一番早く入る確率，$\Lambda(t) = \sum_i \lambda_i(t)$.)

例として 状態 $(0, 0, 0)$ では

$$V_t(0,0,0) = \sum_{\substack{0<j\le n \\ 0<k<\overline{k}}} a_j(k)(V_{t+1}(0,j,k)+k)$$

$$+\sum_{\substack{0<j\le n \\ \overline{k}\ \le k}} a_j(k)(V_{t+1}(0,j,\overline{k})+\overline{k}) + e^{-\Lambda(t)}V_{t+1}(0,0,0)$$

となる．

4. 数値例と考察

地点数 $n = 6, 9, 12, 15$ の場合について，各地点，各時刻の需要を一定 $\lambda_i(t) = 0.7$ にした数値計算例を以下に示す．

表 1: 期待乗車人数

地点数	6	9	12	15
容量 無限	9.14	8.85	8.72	8.64
容量 8 人	8.69	8.14	7.87	7.71
容量 4 人	6.50	5.57	5.14	4.89

無限容量のときの期待乗車人数程度の容量があれば，有限にする影響は小さい．また，運行路線が長くなるほど，影響が大きくなる．これは相乗りできる確率が無限容量の場合とくらべて，長い路線ほど小さくなるためと考えられる．